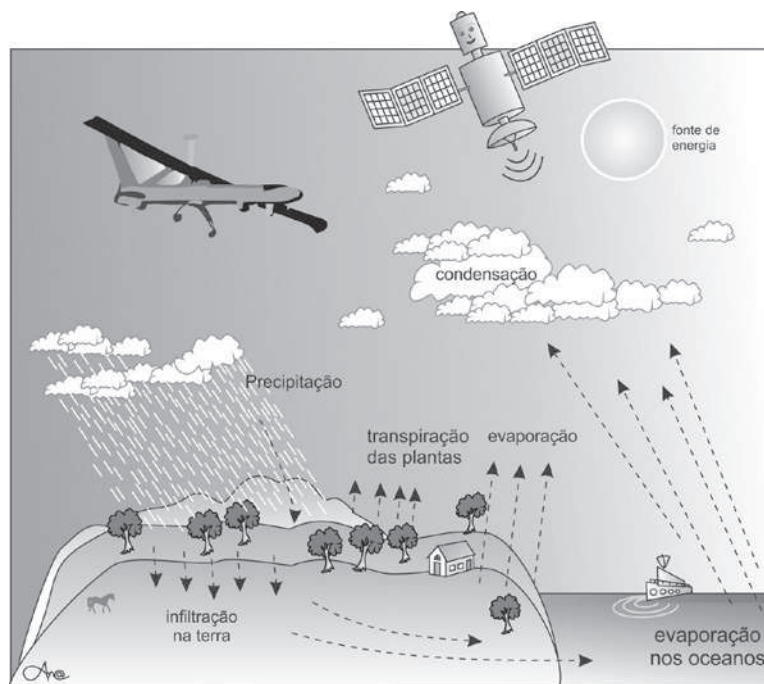


8 Hidrologia



*Sérgio Galdino
Daniel de Castro Victoria*

225 O que é hidrologia?

A hidrologia é a ciência que trata da água na terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com a vida.

O termo hidrologia vem do grego, *hydor*, que significa “água”, e *logos*, que significa “estudo”. Diante da sua amplitude e complexidade, a hidrologia foi compartimentada, sendo objeto de estudo por especialidades como meteorologia, oceanografia, limnologia, ecologia e hidrogeologia. Atualmente, a hidrologia preocupa-se, basicamente, com os aspectos quantitativos da fase terrestre do ciclo hidrológico.

226 Quais os fenômenos terrestres do ciclo hidrológico?

Os movimentos permanentes da água na fase terrestre compreendem, principalmente, os seguintes fenômenos:

- Evaporação.
- Transpiração.
- Precipitação.
- Interceptação vegetal.
- Escoamento superficial.
- Infiltração no solo.
- Escoamento subsuperficial e subterrâneo.

227 Qual a importância da geotecnologia para estudos hidrológicos?

A geotecnologia facilita e aprimora estudos hidrológicos ao considerar a variação espacial e/ou temporal das variáveis hidrológicas. O crescente potencial do sensoriamento remoto e de SIGs para representar a informação espacial e temporal de bacias hidrográficas de maneira rápida, por meio de mapas de uso do solo,

juntamente com dados topográficos, possibilitam o desenvolvimento de modelos hidrológicos mais acurados, que subsidiam tomadas de decisões. Um exemplo é o estudo da estimativa do valor do escoamento superficial da água sobre o solo, que produz informações importantes a respeito da infiltração da água no solo e da recarga de aquíferos subterrâneos.

228 O que é rede hidrológica?

É um conjunto de estações ou postos distribuídos sobre a superfície terrestre e equipados com um ou mais instrumentos de coleta de dados hidrométricos básicos.

No Brasil, os instrumentos mais comuns são pluviômetros e réguas linimétricas, que possibilitam medir respectivamente, o volume das chuvas e os níveis dos rios (cota)¹⁴.

229 Como são gerados dados de vazão de um rio?

As vazões de um rio são estimadas a partir da relação (equação) entre as leituras das réguas linimétricas/linígrafo e valores de vazão obtidos por meio de medições feitas no local, com equipamentos específicos para essa finalidade, como molinetes fluviométricos.

Assim, após uma série de medições de vazão, é ajustada uma equação denominada pelos hidrólogos de “curva chave”, que possibilita gerar dados de descarga líquida a partir das leituras linimétricas.

230 Como se pode saber se em determinada região existem dados hidrometeorológicos e como se pode obtê-los?

A melhor forma de se conhecer esses dados é consultando o sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de

¹⁴O nível de um curso d'água também pode ser obtido, automaticamente, por meio de equipamento denominado linígrafo.

Águas (ANA), por meio do portal HidroWeb ou do portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. A rede hidrometeorológica da ANA reúne:

- Dados de milhares de estações de medições de volume de chuvas.
- Evaporação da água.
- Nível e vazão de rios.
- Quantidade de sedimento.
- Qualidade da água.

Esses dados podem ser obtidos, gratuitamente, via *download* diretamente do portal. A consulta pode ser feita pelos nomes da estação, do rio, do município, do estado ou pelo código da sub-bacia ou bacia.

O HidroWeb¹⁵ também disponibiliza, para *download*, arquivos no formato *shape* (*shapefile*) com a localização geoespacial das estações hidrológicas brasileiras. Além dos portais da Agência Nacional de Águas (ANA), alguns órgãos estaduais mantêm uma base de dados on-line, onde podem ser obtidas informações de interesse.

231 O que são bacias hidrográficas?



São áreas da superfície terrestre em que as águas das chuvas escoam das áreas mais altas para as mais baixas do terreno, concentrando-se em canais naturais, denominados

de córregos, ribeirões, rios, etc., até atingirem uma seção definida (exutório). Assim, essa área é delimitada topograficamente pelo exutório, que é a seção do curso d'água de saída da água da bacia, e pelos chamados divisores de águas que a separa de bacias adjacentes. A água que precipita fora do divisor de água da bacia não contribui para o escoamento no exutório considerado.

¹⁵Disponível em:<<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.

232 Qual a importância da bacia hidrográfica no planejamento territorial?

Com a Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), a bacia hidrográfica foi adotada como unidade de planejamento dos recursos hídricos, passando a ser de fundamental importância no gerenciamento territorial para atividades agrossilvipastoris, bem como nos estudos relacionados ao meio ambiente.

233 Como se pode delimitar, manualmente, uma bacia hidrográfica?

Usando carta(s) topográfica(s) ou pares estereoscópicos de aerolevantamentos recobrimo a bacia hidrográfica de interesse, inicialmente deve-se localizar a seção de saída do curso d'água principal da bacia (exutório). A partir desse ponto, usando informações da rede de drenagem localizada a montante (rio acima) do exutório e das curvas e pontos altimétricos da(s) carta(s), procede-se à demarcação do divisor de água da bacia.

Essa delimitação pode ser feita usando-se o sistema de informação geográfica, a partir do georeferenciamento prévio da(s) carta(s) topográficas e posterior digitalização do limite da bacia, gerando assim, um arquivo vetorial (polígono). Apesar de rápido, esse método manual pode incorrer a imprecisões no traçado do divisor de águas. Também é possível delimitar a forma automatizada, a partir de um modelo digital de elevação (MDE) e procedimentos executados dentro de um sistema de informação geográfica (SIG).

234 Como obter mapas de drenagens?

Mapas de drenagem podem ser obtidos de cartas topográficas ou a partir da identificação dos cursos de drenagem em pares estereoscópicos de fotos aéreas. Também é possível identificar os cursos d'água usando-se imagens de sensores remotos orbitais,

principalmente quando os produtos são considerados mais recentes, com elevada resolução espacial. Outra maneira de identificar as drenagens é por meio de métodos de geoprocessamento que simulam o escoamento da água na superfície do terreno, a partir de um modelo digital de elevação (MDE).

235 Qual a importância dos modelos digitais de elevação (MDE) nos estudos hidrológicos?

Calcular parâmetros importantes para estudos hidrológicos como:

- Declividade.
- Direção e acúmulo do escoamento superficial.
- Comprimento de rampa.
- Identificação de cursos d'água.
- Bacias hidrográficas, dentre outros.

236 O que é um modelo digital de elevação (MDE) hidrológicamente consistente?

É uma representação numérica do terreno que foi tratada para remover imprecisões ou erros que dificultem a delimitação das redes de drenagem e de bacias hidrográficas. Mais comumente, o procedimento consiste em remover depressões isoladas na superfície (sumidouros ou *sinks*), que impediriam o correto traçado da rede de drenagem.

237 Como obter a rede de drenagem a partir de um MDE?

De posse de um MDE hidrológicamente consistente, a rede de drenagem pode ser obtida usando-se ferramentas de geoprocessamento. Primeiramente, é preciso identificar a direção de fluxo do terreno, um procedimento que identifica o sentido do

escoamento da água na superfície, de acordo com a declividade e orientação das encostas.

Existem diferentes algoritmos que executam esse procedimento, sendo um dos mais comuns o algoritmo D8. Esse algoritmo considera que o escoamento de um determinado ponto pode ir apenas para uma das oito direções (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).

Em seguida é feito o acúmulo de fluxo, que calcula para cada célula (pixel) do MDE, o número de pixels que escoam para aquele local. Os pixels com elevado valor de acúmulo são identificados como sendo a rede de drenagem. O valor mínimo do mapa de acúmulo que identifica um curso d'água é definido empiricamente e varia de acordo com a região e a resolução do MDE.

238

Como se delimita uma bacia hidrográfica usando-se um MDE?

O procedimento é semelhante ao usado para delimitar a rede de drenagem.

Primeiramente, é preciso gerar os mapas de direção e acúmulo de fluxo. Em seguida, existem, basicamente, dois procedimentos. Um delimita todas as bacias hidrográficas do MDE, de acordo com uma área mínima ou a partir da confluência de todos os canais de drenagem identificados no mapa de acúmulo de fluxo.

O segundo procedimento consiste em identificar as bacias a partir de seções de controle definidos pelo usuário do programa de geoprocessamento. É importante garantir que o ponto identificado como a seção de controle esteja realmente posicionado sobre uma célula com elevado valor de acúmulo de fluxo.

Muitas vezes, em decorrência de erros de posicionamento, a localização de uma seção de controle definida a partir de coleta feita em campo com aparelhos de GNSS, apresentam deslocamentos em relação ao MDE. Como cada Sistema de Informação Geográfica (SIG) é diferente, o usuário deve recorrer à documentação do pacote computacional adotado, para saber quais ferramentas devem ser utilizadas.

239 Como obter a área e o perímetro de uma bacia hidrográfica?

Caso a bacia tenha sido delimitada dentro de um sistema de informação geográfica (SIG), os pacotes computacionais apresentam ferramentas para o cálculo de área e perímetro de polígonos¹⁶.

240 Que parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica pode-se obter a partir do seu limite e da sua rede de drenagem?

Usando-se arquivos vetoriais (*shapes*) do limite da bacia hidrográfica e da rede de drenagem e um SIG, é possível obter a área e o perímetro da bacia, além de outros parâmetros morfométricos como:

- Compacidade.
- Fator de forma.
- Índices de circularidade e de sinuosidade.
- Comprimento.
- Número.
- Hierarquia.
- Densidade de drenagem.

Inicialmente, os parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica eram extraídos de fontes analógicas (cartas topográficas, etc.) por meio de procedimentos e cálculos manuais. Com o advento da computação e principalmente dos sistemas de informação geográfica (SIGs), a obtenção desses parâmetros foi otimizada a partir do uso dos modelos digitais de elevação (MDEs), rede hidrográfica digitalizada, ortofotos e imagens de sensores orbitais.

241 Qual a importância das estimativas de parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica?

Sua importância é avaliada por suas várias aplicações, como:

- Na modelagem dos fluxos hidráulicos.

¹⁶Recomenda-se consultar o manual do SIG adotado, para se saber ao certo quais ferramentas devem ser usadas.

- No transporte e deposição de sedimentos e poluentes.
- Na predição de inundações, contribuindo assim no planejamento do manejo da bacia hidrográfica.

242 O que são ottobacias e qual sua importância na gestão de recursos hídricos?

Ottobacias são uma forma de codificar bacias hidrográficas, proposta pelo hidrólogo Otto Pfafstatter em 1989, que utiliza um método hierárquico para identificar as regiões hidrográficas e as bacias hidrográficas no Brasil. A identificação e a delimitação das bacias hidrográficas têm importância na gestão dos recursos hídricos, pois delimita as áreas de influência de um determinado corpo d'água.

243 O que são isoietas e como pode-se gerá-las usando o sistema de informação geográfica (SIG)?

São linhas que identificam locais com precipitação igual, um conceito semelhante às linhas de cota num mapa topográfico.

Elas podem ser geradas a partir da interpolação de dados de estações pluviométricas ou a partir de dados de precipitação obtidos por sensores remotos, como os produtos do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

244 Quais os principais modelos de predição das perdas de solo em bacia hidrográfica?

O modelo mais conhecido e largamente usado em todo o mundo, para estimativa da erosão hídrica, é a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE).

O desenvolvimento da USLE teve início a partir de 1950, nos Estados Unidos. Para atender as condições brasileiras, estimativas de parâmetros da USLE sofreram alterações, dando origem a Eups.

Novas pesquisas e experiências continuaram sendo conduzidas nos Estados Unidos, com o propósito de melhorar as estimativas das perdas de solo pela utilização da USLE, originando um novo modelo de predição da erosão denominado Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE*).

Tanto na Eups quanto na RUSLE, manteve-se a mesma estrutura da equação da USLE. No entanto, as formas de determinação dos fatores mudaram expressivamente. Esses modelos foram concebidos para calcular a média de perda de solo em áreas agrícolas. Com o advento do sistema de informação geográfica (SIG) e dos Modelos Digitais de elevação (MDEs), foram aplicadas diversas modificações nesses modelos, para estimar automaticamente a perda de solo em vertentes complexas, como bacias hidrográficas.

245

Como se pode mapear a perda de solo numa bacia hidrográfica, usando-se a USLE/RUSLE?

Num sistema de informação geográfica (SIG) multiplicando-se os seguintes Planos de Informação (arquivos raster):

- Fator erosividade da chuva (Fator R).
- Fator erodibilidade do solo (Fator K).
- Fator comprimento da vertente (Fator L).
- Fator declividade da vertente (Fator S).
- Fator uso e manejo do solo (Fator C).
- Fator prática conservacionistas do solo (Fator P).

246

Como se pode gerar o mapa de erosividade das chuvas de uma bacia hidrográfica?

Inicialmente são gerados valores de erosividade da chuva, a partir de dados de chuva de postos pluviométricos e/ou de pluviográficos georreferenciados, localizados no interior da bacia e no seu entorno. Usando-se o SIG, interpolam-se esses dados para gerar

o mapa de erosividade das chuvas. A krigagem é um dos métodos de interpolação espacial mais usado, entretanto para sua aplicação deve-se proceder a alguns testes preliminares. Outro interpolador recomendado é o Inverso do Quadrado da Distância (IQD).

247 **Quais os principais fatores do relevo que interferem no escoamento superficial da água e consequentemente na erosão hídrica do solo?**

Basicamente, são dois fatores:

Primeiro fator – É o comprimento da vertente, ou seja, o trecho percorrido pela água da chuva de um ponto mais elevado topograficamente, onde inicia o escoamento, até o ponto em que encerra a enxurrada, que ocorre normalmente quando a água é captada por um canal definido (curso d'água). Assim, quanto maior o comprimento da vertente, maior o potencial de erosão (Fator L da USLE/RUSLE).

Segundo fator – É a declividade do terreno. Quanto mais íngreme é o terreno, maior o risco de erosão (Fator S da USLE/RUSLE).

248 **Numa bacia hidrográfica, quais as contribuições da geotecnologia na estimativa da perda de solo?**

Entre as principais contribuições, pode-se mencionar o mapeamento das áreas de risco de erosão e a avaliação do impacto de diferentes cenários de uso das terras nas perdas de solo da bacia hidrográfica. Com o advento do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e dos MDEs, foram desenvolvidos diversos algoritmos para estimativa automática do fator erosivo associado ao relevo de bacias hidrográficas. Além disso, a geotecnologia também contribuiu muito com a espacialização das classes de solos e com o uso das terras, necessários a modelagem da perda de solo.

249

Qual a diferença entre perda de solo e produção de sedimento de uma bacia hidrográfica?

A perda de solo ocorre durante uma tempestade, quando a energia cinética da chuva desagrega, transporta e deposita partículas do solo. Essas partículas transportadas são depositadas ao longo da encosta ou em áreas planas. A produção de sedimento de uma bacia hidrográfica constitui a parte do solo erodido que atinge os cursos d'água e é transportada para fora da bacia. Portanto, produção de sedimento é a fração do solo erodido que atinge o exutório da bacia hidrográfica.

Assim, como nos processos de perda de solo, a perda de solo depende, principalmente:

- Do regime pluviométrico.
- Das propriedades dos solos.
- Das características do relevo.
- Da cobertura do solo.
- De práticas conservacionistas do solo.

250

Como se estima a produção de sedimento de uma bacia hidrográfica?

Por meio de ferramentas que unem os sistemas de informação geográfica (SIG) aos modelos hidrossedimentológicos, possibilitando a espacialização da produção de sedimento de uma bacia hidrográfica. Um exemplo é a Equação Universal de Perda de Solos Modificada (*Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE*), que integra o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). O SWAT simula diferentes processos físicos em bacia hidrográfica agrícola (evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo). Para o ambiente SIG foi desenvolvida uma ferramenta específica para o modelo SWAT, denominada de ArcSWAT.

251 Como se elaboram mapas de área de risco de inundação a partir de imagens de satélite?

Na faixa do infravermelho próximo, a água e as áreas de solo úmido são representadas por tons de cinza. Normalmente, essa faixa corresponde à Banda 4 dos satélites Landsat e CBERS. Essa informação integrada com outras fontes, como por exemplo, uso da terra, relevo (MDE), dados de chuva e de vazão de cursos d'água, integradas por meio de um SIG, podem possibilitar a elaboração de um mapa de áreas de risco de inundação.

252 O que é regionalização de vazão e qual sua importância em estudos hidrológicos?

É um método estatístico da hidrologia que possibilita estimar a vazão média de longo prazo na rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, em locais com ausência ou insuficiência de dados. Ferramentas de geoprocessamento podem auxiliar nos cálculos da regionalização e nas estimativas das vazões, facilitando a organização e análise dos dados.

A regionalização tem grande importância na previsão probabilística de riscos de enchentes e na disponibilidade hídrica de longo termo, para usos como a geração hidráulica de energia ou irrigação.

253 Há como prever/simular por meio do software de geoprocessamento a área inundada por obras de represamento para a construção de usinas hidrelétricas?

Sim. Existem modelos complexos específicos para esse objetivo, incluindo ferramentas em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). No entanto, uma maneira mais simples e semiautomática é

com o modelo digital de elevação (MDE) e da rede de drenagem da área de construção da represa.

Primeiro passo – Definir o local da represa e a cota da sua lamina. Após a criação de um arquivo vetorial (linha) correspondendo à localização da represa, delimita-se a área a montante (rio acima) da usina hidrelétrica com a mesma cota da lâmina d'água dessa represa.

Segundo passo – Após a geração do vetor polígono correspondente à área inundada, é só aplicar funções métricas do SIG para calcular a área do espelho d'água.

254

Há como prever/simular, o ciclo hidrológico e a produção de água numa determinada bacia hidrográfica?

Existem modelos matemáticos formulados justamente para simular fluxos de água e energia do ciclo hidrológico. Tais modelos apresentam diferentes graus de complexidade e cada um é mais adequado para determinadas situações. Existem, por exemplo:

- Modelos específicos para simular grandes bacias hidrográficas.
- Modelos mais adequados para simular pequenas bacias, incluindo-se o deslocamento de sedimentos e de pesticidas.
- Modelos para calcular inundações.
- Modelos para calcular a necessidade de irrigação, dentre outros.

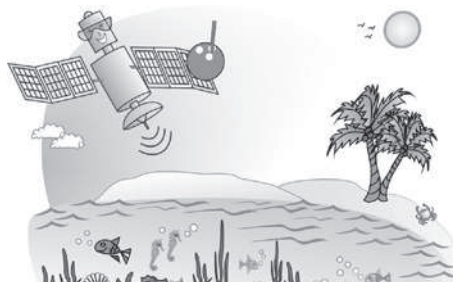
255

Como se deve proceder para se obter informações referentes ao balanço hídrico de referido município?

Na internet, existem diversos sites que disponibilizam informações sobre balanço hídrico. Dentre eles, destaca-se o site do Instituto Nacional de Meteorologia e o sistema Agritempo.

256 **É possível detectar crescimento de vegetação aquática por meio de sensoriamento remoto?**

Sim. Os sensores remotos conseguem distinguir, facilmente, as áreas com crescimento de vegetação aquática dentro dos corpos d'água. Assim, pode-se usar essas ferramentas para estudos de eutrofização de lagos que causam proliferação de macrófitas.



257 **É possível identificar a descarga de sedimentos nos corpos d'água, por meio de sensoriamento remoto?**

Sim. Usando-se imagens de sensoriamento remoto com resoluções espaciais e com as bandas adequadas, é possível identificar as plumas causadas pela descarga de sedimentos em corpos d'água, como em rios, lagos, estuários e oceanos. Como exemplo, pode-se citar o Encontro das Águas dos rios Solimões e Negro, em Manaus, AM.

258 **Qual a finalidade da modelagem hidrológica?**

É utilizada para compreensão do ciclo hidrológico, simula o seu funcionamento podendo ser usada para avaliações de cenários futuros como alteração do uso/cobertura da terra ou mudanças climáticas. Em muitos casos, a bacia hidrográfica é o objeto de estudo e geotecnologias são imprescindíveis para esta modelagem, auxiliando no processo de descrição física da bacia, levando em consideração sua variabilidade espacial.

Referência

BRASIL. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 de janeiro de 1997.